

## SILIZIUMANODEN ZUR STEIGERUNG DER ENERGIEDICHTE VON LITHIUM-BATTERIEN

### DIE AUFGABE

Die Erhöhung der Energiedichte von Lithium-Ionen-Batterien ist die Voraussetzung zur Verlängerung der Reichweite von Elektrofahrzeugen. Aufgrund des limitierten Raums im Automobil gilt dabei der Energiedichte pro Volumeneinheit besonderes Augenmerk. Die Substitution der derzeit eingesetzten Graphitanoden durch Silizium bietet das Potenzial diesen Bedarf abzudecken, da sie eine größere Anzahl an Lithium-Ionen pro Gewicht und Volumen speichern können.

Ein Nachteil, der die kommerzielle Anwendung von siliziumbasierten Anoden bisher verhindert hat, ist die Volumenausdehnung von ca. 300 Prozent während der Lithiumeinlagerung. Kompositstrukturen aus Silizium und Kohlenstoff werden als Lösung dieses Problems angesehen. Allerdings werden dadurch die positiven Aspekte des Siliziums eingeschränkt. Der Einsatz von konformen Siliziumschichten wird aufgrund des Kontaktverlustes des Aktivmaterials während der Volumenexpansion bisher verhindert.

Insbesondere zum Erreichen einer hohen volumetrischen Energiedichte ist daher die Entwicklung von reinen, kompakten Siliziumelektroden notwendig, die die Volumenexpansion beim Lithieren kompensieren und für den Einsatz in großformatigen Zellen geeignet sind.

### UNSERE LÖSUNG

Durch die Abscheidung von Silizium auf speziell vorbehandelten Substraten kann eine kolumnare Struktur mit guter Adhäsion zum Stromkollektor und intrinsischer Porosität erzeugt werden. Derartige Elektroden zeigen prinzipiell eine exzellente elektrochemische Kapazitätsausnutzung.

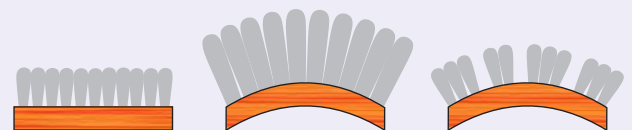
Es werden jedoch Deformationseffekte bzw. Risse in den Elektroden beobachtet, da aufgrund des speziellen Wachstumsmechanismus der Siliziumschicht und durch Abschattungseffekte nicht genügend Raum für die Volumenexpansion bereitgestellt werden kann.

Am Fraunhofer IWS wurde eine Nachbehandlung der kolumnaren Siliziumstrukturen entwickelt, mit welcher Elektroden deformationen vermieden werden. Als Vorlage diente die im ersten Lithierungs- und Delithierungsschritt erzeugte, selbst organisierte blockartige Struktur der kolumnaren Siliziumschicht (Abb. 2). Das Prinzip der Entwicklung beruht auf der partiellen Ablation von Silizium durch Lasermikrobearbeitung (Abb. 1). Durch die Variation der Prozessparameter (Laserleistung, Wellenlänge des Lasers, Vorschubgeschwindigkeit) kann die Struktur gezielt eingestellt werden.

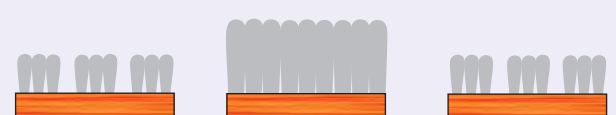
#### Vermeidung der Elektrodendeformation bei der Lithiumeinlagerung in kolumnare Siliziumschichten durch Laserstrukturierung



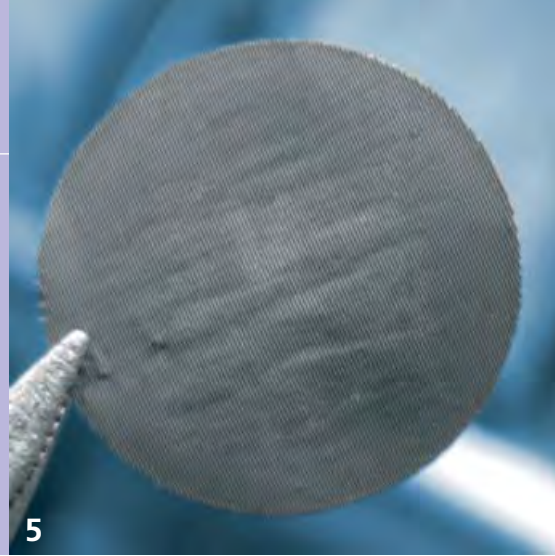
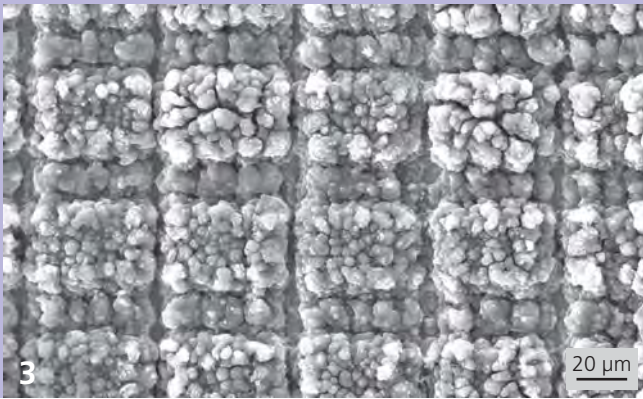
a) ohne Strukturierung



b) mit IWS-Strukturierung



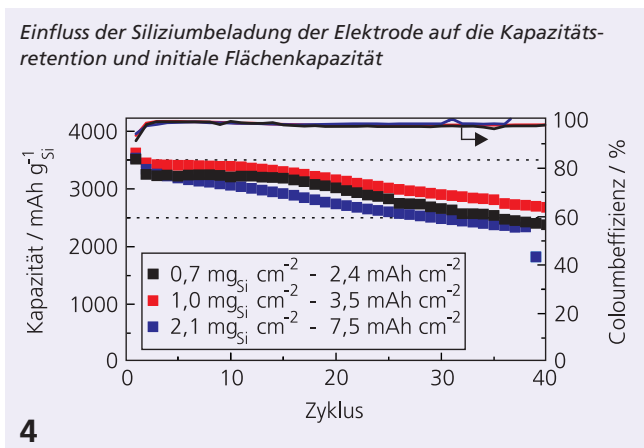
2



## ERGEBNISSE

Durch die Lasermikrobearbeitung wurde die während der elektrochemischen Zyklisierung selbstorganisierte, blockartige Struktur initial eingestellt, sodass die Elektrodendeformation vermieden werden konnte (Abb. 3, 5).

Die kolumnaren Siliziumschichten wurden in Halbzelltests gegen Lithium hinsichtlich ihrer elektrochemischen Eigenschaften bewertet. Mit Steigerung der Siliziumbelastung der Elektroden konnte bei gleichbleibender Kapazitätsretention die Flächenkapazität von etwa 2 mAh cm<sup>-2</sup> auf bis zu 7,5 mAh cm<sup>-2</sup> gesteigert werden (Abb. 4).



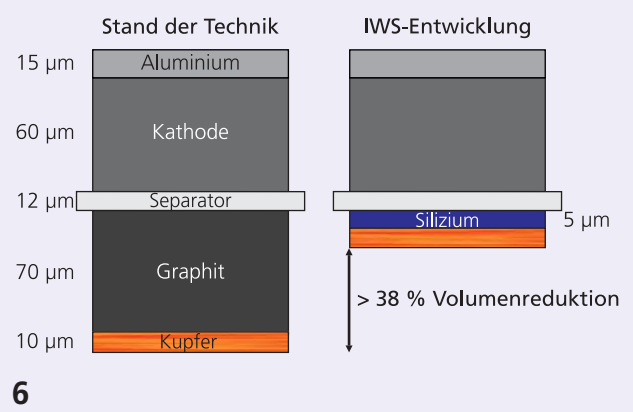
4

Die am IWS entwickelten reinen und kompakten Siliziumschichten können perspektivisch die herkömmlichen Graphitanoden substituieren. Das Volumen der Anode kann dadurch bei gleichbleibender Kapazität minimiert werden, was zu einem Volumenvorteil von über 38 Prozent auf Zellebene führt (Abb. 6).

Auf diesem Anodenmaterial basierende Sekundärbatterien besitzen das Potenzial, die volumetrische Energiedichte um 43 Prozent von derzeit maximal 700 auf über 1.000 Wh l<sup>-1</sup> zu steigern. Das Batteriepack kann also bei gleichem Bauraum

eine größere Energiemenge speichern und damit die technologische Grundlage zur Steigerung der Reichweite von Elektrofahrzeugen schaffen. Die Weiterentwicklung und Skalierung der Technologie zur Si-Abscheidung und -Strukturierung sind dabei der Schlüssel für die erfolgreiche industrielle Umsetzung dieses Konzeptes.

*Vergleich des Zellvolumens einer Lithium-Ionen-Batterie mit Graphitanode (links) und kolumnarer Siliziumschichtanode (rechts) bei gleicher Flächenkapazität*



6

- 1 Lasermikrobearbeitung kolumnarer Siliziumschichten
- 3 Vermeidung der makroskopischen Elektrodendeformation durch Strukturierung
- 5 Strukturierte Elektrode nach Lithiierung mit expandierten Siliziuminseln

## KONTAKT

M. Sc. Markus Piwko

+49 351 83391-3530

markus.piwko@iws.fraunhofer.de

